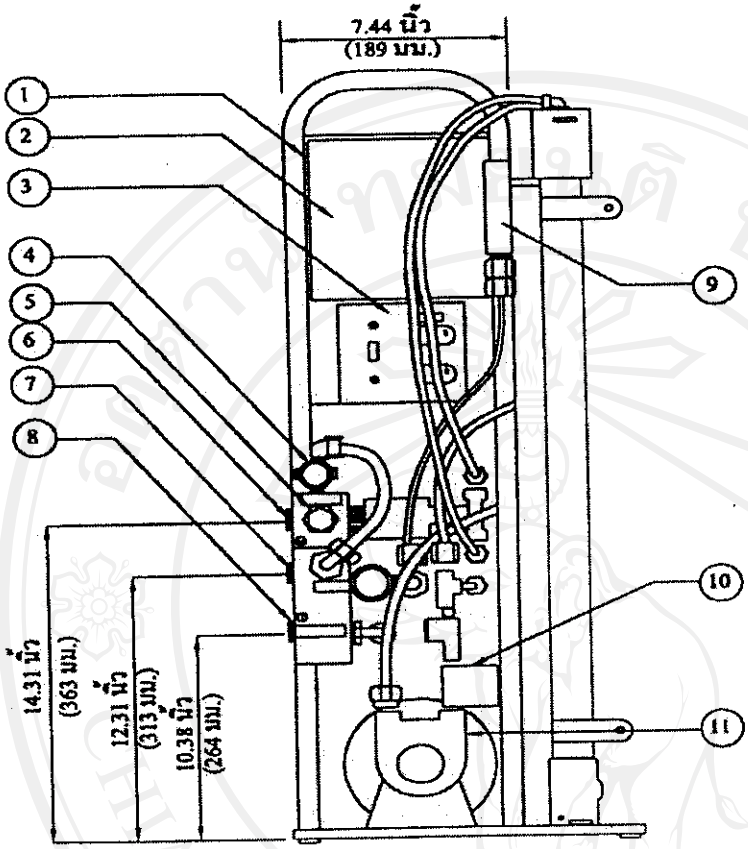
บทที่ 3
การดำเนินการศึกษา

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

ในการวิจัยจะใช้แบบจำลองรีเวอร์สออสโมซิส Osmonics OSMO 12E ECONOPURES ร่วมกับเมมเบรน ULTRATEK TW2521 โดยแสดงข้อมูลและรายละเอียดดัง รูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1 ในการทดลองจะทำการติดตั้งดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย ถังเตรียมน้ำตัวอย่างขนาด 200 ลิตร น้ำจะถูกสูบเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นต้นด้วยเครื่องกรองละเอียดขนาด 5 ไมครอน และเข้าสู่แบบจำลอง น้ำที่ได้จากการผ่านแบบจำลอง คือ น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน (Permeate) และ น้ำส่วนเข้มข้น (Concentrate) โดยการหมุนเวียนน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน และน้ำส่วนเข้มข้นจะขึ้นกับกรณีที่ศึกษาในหัวข้อต่างๆต่อไป โดยเมื่อเริ่มเดินระบบหลังจากติดตั้งแบบจำลอง และหลังจากการเดินระบบเพื่อศึกษาตามวัตถุประสงค์ จะต้องมีการล้างเมมเบรน โดยอ้างอิงวิธีการล้างตามการวิจัยของ ปฏิรูป พลจันทร์ (2544) คือหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละครั้ง จะทำความสะอาดเมมเบรน โดยการเดินระบบด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาที ใช้สารละลายกรด HCl 0.1 นอร์มอล ผสมกับน้ำกลั่นให้มีระดับพีเอชประมาณ 3 ผ่านระบบที่ความดันประมาณ 2 บาร์ (29 ปอนด์/ตร.นิ้ว) เป็นเวลา 30 นาที และตามด้วยสารละลาย NaOH 0.1 นอร์มอล ผสมกับน้ำกลั่นให้มีระดับพีเอชประมาณ 10.5 ผ่านระบบที่ความดันประมาณ 2 บาร์ (29 ปอนด์/ตร.นิ้ว) เป็นเวลา 30 นาที ทำการเดินระบบกับน้ำกลั่นที่ความดันประมาณ 3 บาร์ (43.5 ปอนด์/ตร.นิ้ว) ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน จนระบบอยู่ในสภาวะสมดุล คือ ระบบมีอัตราการการไหลของน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนที่มีแนวโน้มที่คงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

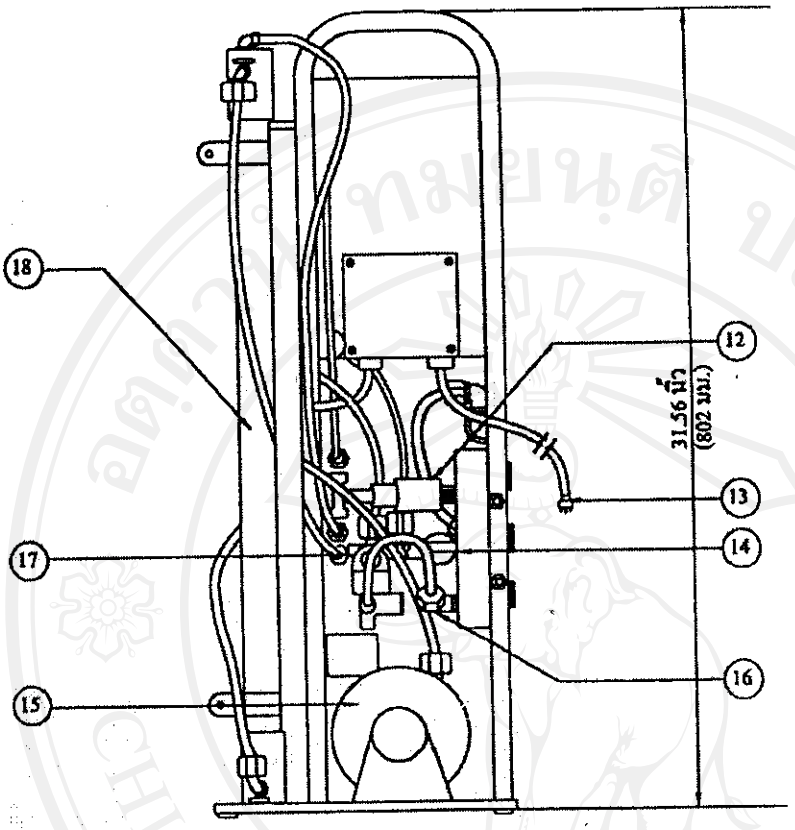


รายละเอียดและองค์ประกอบทั่วไปของแบบจำลอง

เลขที่	รายการ	เลขที่	รายการ
1	Frame	10	Thermal Switch & Shrink Tubing
2	Serial Plate	11	Pump
3	Electrical Assembly	12	Ball Check Valve
4	Relief Valve	13	Cord Set
5	Man fold	14	Concentrate Valve
6	Permeate Outlet ¼" FPT	15	Motor
7	Concentrate Outlet	16	Strainer
8	Inlet 3/8" FPT	17	Solenoid Valve
9	Pressure Gauge	18	Separator Housing

รูปที่ 3.1 รายละเอียดแบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES
ที่มา : วีระโชค เลิศพรสวรรค์ (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รายละเอียดและองค์ประกอบทั่วไปของแบบจำลอง

เลขที่	รายการ	เลขที่	รายการ
1	Frame	10	Thermal Switch & Shrink Tubing
2	Serial Plate	11	Pump
3	Electrical Assembly	12	Ball Check Valve
4	Relief Valve	13	Cord Set
5	Man fold	14	Concentrate Valve
6	Permeate Outlet ¼" FPT	15	Motor
7	Concentrate Outlet	16	Strainer
8	Inlet 3/8" FPT	17	Solenoid Valve
9	Pressure Gauge	18	Separator Housing

รูปที่ 3.1 รายละเอียดแบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES (ต่อ)

ที่มา : วีระโชค เลิศพรสวรรค์ (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

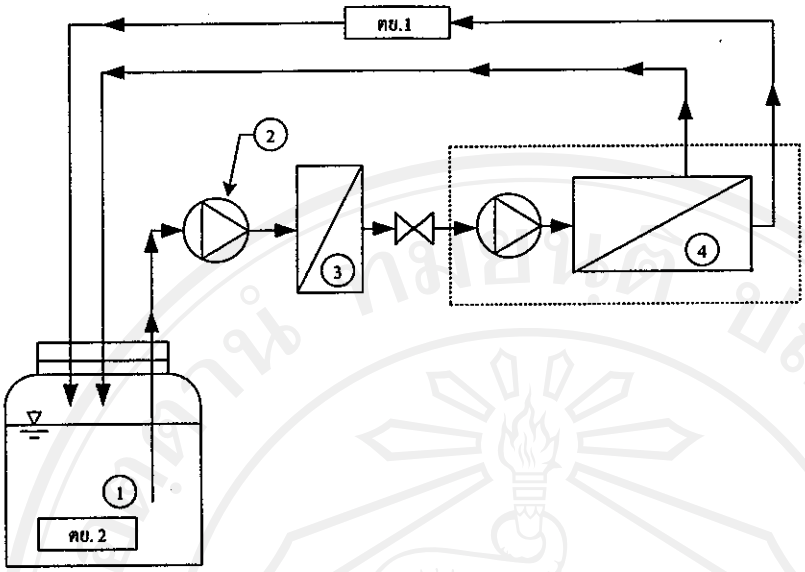
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดแบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES
และเมมเบรน ULTRATEK รุ่น TW2521

รายการ	รายละเอียด
เครื่องสูบน้ำ	อัตราสูบ 80 แกลลอน/ชม.
มอร์เตอร์	0.25 Hp/115V/60Hz
ขนาดแบบจำลอง	กว้าง 13 นิ้ว, ลึก 11 นิ้ว, สูง 30 นิ้ว
รูปแบบของเมมเบรน	แบบม้วนรูปก้นหอย
ยี่ห้อ/รุ่น ของเมมเบรน	ยี่ห้อ ULTRATEK รุ่น TW2521
ชนิดของเมมเบรน	TFC (Thin Film Composite)
ชนิดของประจุของเมมเบรน	ประจุลบ
ขนาดพื้นที่ผิวต่อหน่วยของเมมเบรน	12 ตร.ฟุต (1.08 ตร.ม.)
ขนาดความพรุนของเมมเบรน	0.0001 ไมครอน
Feed Concentration	2000 ppm (NaCl)
การกักกันสารละลาย (Salt Rejection)	98%
อัตราการแพร่ผ่านของน้ำบริสุทธิ์	300 แกลลอน/วัน
ความดันสูงสุดที่เมมเบรนรับได้	225 ปอนด์/ตร.นิ้ว
ระดับพีเอชที่เมมเบรนรับได้	6.5-7.0
%Recovery	15 ± 5%

ที่มา : วีระโชค เลิศพรสวรรค์ (2542)

ULTRATEK MEMBRANES Reverse Osmosis Element Application Data

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	ถังเก็บน้ำขนาด 200 ลิตร ใช้เตรียมน้ำตัวอย่าง
2	เครื่องสูบน้ำรูปหอยโข่ง
3	เครื่องกรองละเอียดขนาด 5 ไมครอน
4	แบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES
ตย. 1	น้ำที่แพร่ผ่านเมมเบรน (Permeate)
ตย. 2	น้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 3.2 การติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และจุดเก็บน้ำตัวอย่าง ในการศึกษาผลของความดันควบคุม ระบบปฏิบัติการ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด

3.2 น้ำตัวอย่างในการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำสังเคราะห์ โดยอ้างอิงจากคุณลักษณะของน้ำที่ระบายจากเหมืองแม่เมาะดังตารางที่ 2.1 โดยน้ำสังเคราะห์จะมีปริมาณซัลเฟตที่ได้จากการเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) กับน้ำสะอาดที่ผลิตระบบรีเวอร์สออสโมซิสของห้องปฏิบัติการให้มีปริมาณซัลเฟตเท่ากับปริมาณซัลเฟตของน้ำระบายจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การศึกษาผลของความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด

การศึกษาจะทำการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.2 ในการทดลองจะทำการย้อนกลับน้ำส่วนที่แพร่ผ่านเมมเบรนและน้ำส่วนเข้มข้น เพื่อรักษาความเข้มข้นของตัวอย่าง ทำการล้างเมมเบรน โดยอ้างอิงวิธีการล้างตามการวิจัยของ ปฏิรูป พลจันทร์ (2544) ดังแสดงในข้อ 3.1 ในการทดลองถึงผลของการเดินระบบที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการที่ต่างกัน คือ 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตามลำดับ หลังจากการล้างเมมเบรนแล้วเดินระบบจะเริ่มที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยน้ำสะอาดที่ผลิตระบบรีเวอร์สออสโมซิสของห้องปฏิบัติการ ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนจนระบบเข้าสู่สมดุล คือ ระบบมีอัตราการการไหลของน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนที่มีแนวโน้มที่คงที่ หลังจากนั้นจึงเริ่มเดินระบบกับน้ำตัวอย่าง ที่ความดัน 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนจนระบบเข้าสู่สมดุลจึงเริ่มเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาต่อไป ทำการทดลองโดยการเดินระบบต่อไปจนครบทุกเงื่อนไขการทดลอง ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าความดันควบคุมระบบปฏิบัติการที่ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ โดยหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองจะเดินระบบด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาที และล้างเมมเบรนเพื่อทำความสะอาดเมมเบรนและเตรียมการทดลองครั้งต่อไป น้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (APHA,- AWWA, WEF, 1992) โดยตารางที่ 3.2 แสดงถึงพารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีวิเคราะห์

จากการทดลอง เมื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างให้คงที่แล้ว จากสมการของการเคลื่อนที่ของตัวทำละลาย (น้ำ) (สมการที่ 23) อัตราการผลิตน้ำสะอาดจะขึ้นอยู่กับค่าความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ โดยสมการนี้สามารถที่จะหาค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายได้จากความชันของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ระหว่างค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดที่แพร่ผ่านเมมเบรน กับค่าความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ

$$J_1 = -A(\Delta P - \Delta \pi) \qquad (23)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
อัตราการไหล	วัดปริมาตรเทียบกับเวลา
โซเดียม	Atomic Absorption Spectrometric
ซัลเฟต	Gravimetric Method with Drying of Residue และ/หรือ Turbidimetric Method
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity Meter
ของแข็งละลายน้ำ	ทำให้แห้งที่ 103 – 105 ^{o}ซ

ที่มา : APHA,- AWWA, WEF, (1992)

3.3.2 การศึกษาหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย

การศึกษาหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย จะแตกต่างจากการหาค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของตัวทำละลาย (น้ำ) กล่าวคือในกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสกับเมมเบรนที่ให้ประสิทธิภาพสูงนั้น ตัวถูกละลายจะต้องถูกกำจัดและสามารถผ่านกระบวนการออกมาได้น้อย จากสมการการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย (สมการที่ 24) ค่าอัตราการไหลของตัวถูกละลายจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างในระบบปฏิบัติการ

$$J_2 = -B\Delta C_{2s} \qquad (24)$$

ในการศึกษา จะทำการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.3 จากรูป ระบบจะมีการแยกน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนออกจากระบบ และทำการย้อนกลับเฉพาะน้ำส่วนเข้มข้นซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างในระบบสูงขึ้นตามเวลาที่ทำการศึกษา เพื่อการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายแพร่ผ่านเมมเบรน กับค่าความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ โดยในการศึกษาจะทำการล้างเมมเบรนตามวิธีการวิจัยของ ปฏิรูป พลจันทร์ (2544) และเดินระบบด้วยน้ำกลั่นจนระบบเข้าสู่สมดุล ในการทดลองทำการเดินระบบด้วยความดันควบคุมที่ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ ทำการเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษาทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที นำน้ำตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ ผลของการทดลองสามารถที่จะหาค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายได้จากความชันของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายแพร่ผ่านเมมเบรน กับค่าความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละเงื่อนไขจะเดินระบบด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาที และล้างเมมเบรนเพื่อทำความสะอาดเมมเบรนและเตรียมการทดลองครั้งต่อไป

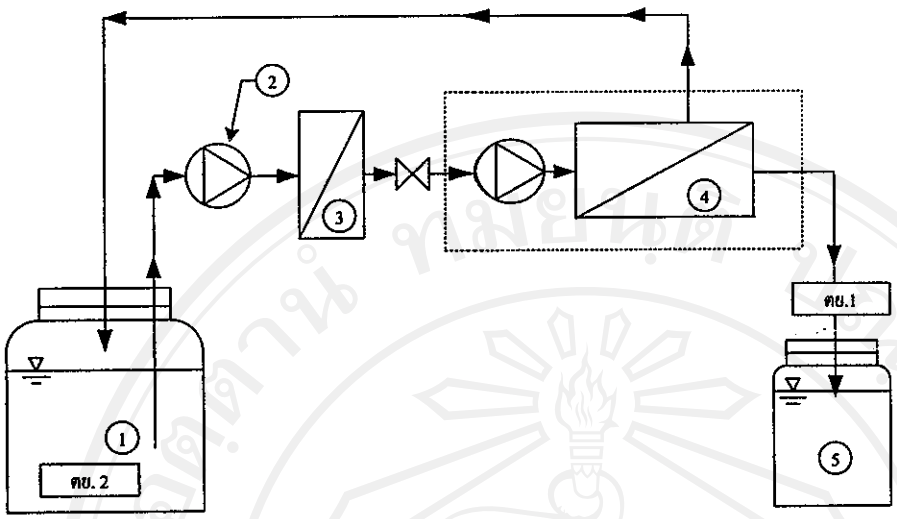
3.3.3 การศึกษาถึงผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัด

การศึกษาเป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของการหมุนเวียนน้ำส่วนเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด ซัลเฟต และไอออนต่างๆ การทดลองจะทำการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และแบบจำลองดังรูปที่ 3.4 จากรูป ระบบจะมีการแยกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ส่วนที่หมุนเวียนกลับสู่ระบบ และส่วนที่ระบายทิ้ง ซึ่งการทดลองจะทำการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบในอัตราส่วน น้ำส่วนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบต่อส่วนที่ระบายทิ้ง ที่ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 ตามลำดับ ในการศึกษาจะทำการล้างเมมเบรนโดยอ้างอิงวิธีการล้างตามการวิจัยของ ปฏิรูป พลจันทร์ (2544) และเดินระบบด้วยน้ำสะอาดที่ผลิตระบบรีเวอร์สออสโมซิสของห้องปฏิบัติการจนระบบเข้าสู่สมดุล การทดลองทำการเดินระบบด้วยความดันควบคุมที่ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ ทำการเดินระบบเป็นเวลา 60 นาที ทำการเก็บน้ำตัวอย่างส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ส่วนที่เข้าสู่ระบบ ส่วนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบ และ ส่วนที่ระบายทิ้ง พร้อมวัดอัตราการไหล ทุก 10 นาที จนครบ 60 นาที นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่พิจารณา โดยหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละเงื่อนจะเดินระบบด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาที และล้างเมมเบรนเพื่อทำความสะอาดเมมเบรนและเตรียมการทดลองครั้งต่อไป

3.3.4 การศึกษาผลของการปฏิบัติการที่มีช่วงระยะเวลายาวนาน

การศึกษาผลของการปฏิบัติการที่มีช่วงระยะเวลายาวนานการศึกษา จะทำการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.3 ในการศึกษาจะทำการล้างเมมเบรนทำการล้างเมมเบรนโดยอ้างอิงวิธีการล้างตามการวิจัยของ ปฏิรูป พลจันทร์ (2544) และเดินระบบด้วยน้ำกลั่นจนระบบเข้าสู่สมดุลโดยในการศึกษากำหนดการเดินระบบด้วยความดันควบคุมระบบปฏิบัติการที่ 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว ร่วมกับน้ำตัวอย่างความเข้มข้นเดิม เดินระบบปฏิบัติการต่อเนื่อง 8 ชั่วโมงต่อวัน รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 120 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างพร้อมวัดอัตราการไหลน้ำส่วนที่แพร่ผ่านเมมเบรนและน้ำส่วนเข้มข้นในช่วงเวลาเดียวกัน คือ เมื่อเดินระบบไปได้ 2 4 6 และ8 ชั่วโมง ตามลำดับ นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละเงื่อนไขจะเดินระบบด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาที และล้างเมมเบรนเพื่อทำความสะอาดเมมเบรนและเตรียมการทดลองครั้งต่อไป

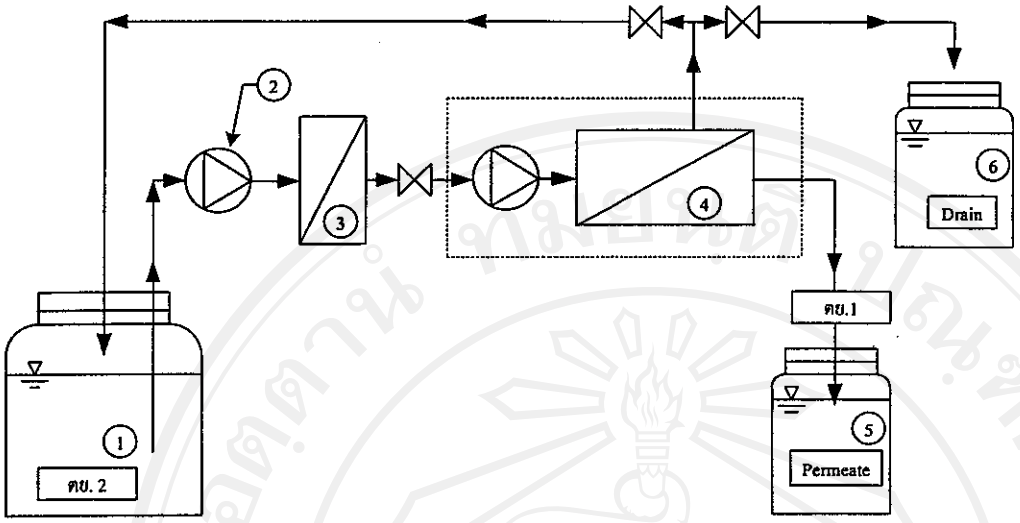
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	ถังเก็บน้ำขนาด 100 ลิตร ใช้เตรียมน้ำตัวอย่าง
2	เครื่องสูบน้ำรูปหอยโข่ง
3	เครื่องกรองละเอียดขนาด 5 ไมครอน
4	แบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES
5	ถังเก็บน้ำขนาด 50 ลิตร ใช้เก็บน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน
ตย. 1	น้ำที่แพร่ผ่านเมมเบรน (Permeate)
ตย. 2	น้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และจุดเก็บน้ำตัวอย่างของการศึกษาหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย และการศึกษาผลของการปฏิบัติการที่มีช่วงระยะเวลายาวนาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	ถังเก็บน้ำขนาด 100 ลิตร ใช้เตรียมน้ำตัวอย่าง
2	เครื่องสูบน้ำรูปหอยโข่ง
3	เครื่องกรองละเอียดขนาด 5 ไมครอน
4	แบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES
5	ถังเก็บน้ำขนาด 50 ลิตร ใช้เก็บน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน
6	ถังเก็บน้ำขนาด 50 ลิตร ใช้เก็บน้ำส่วนระบายทิ้ง (Drain)
ตย. 1	น้ำที่แพร่ผ่านเมมเบรน (Permeate)
ตย. 2	น้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 3.4 การติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และจุดเก็บน้ำตัวอย่างของการศึกษาถึงผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved